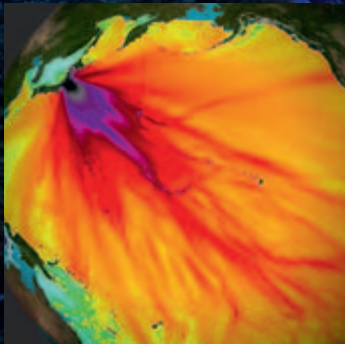


25 SØFORKLARINGER

*Naturvidenskabelige fortællinger
fra Søauditorierne*



25 søforklaringer

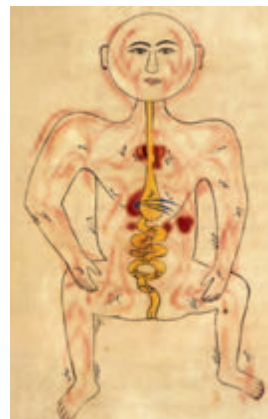
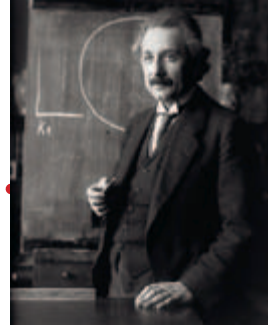


.....

25 søforklaringer

Naturvidenskabelige fortællinger
fra Søauditorierne

-
- 6 Forord**
- 8 Når naturvidenskab trækker fulde huse**
Carsten Rabæk Kjaer
- 16 Tidens relative gang**
Ulrik Uggerhøj
- 30 Den røde planets hemmeligheder**
Per Nørnberg
- 46 Vand, vand og atter vand**
Søren Rud Keiding
- 62 Den flyvende pilekvist**
Kurt I. Sørensen
- 78 Menneskets evolution**
Peter K.A. Jensen
- 96 Moderne kosmologi – Verdenshistorien bind 0**
Steen Hannestad
- 108 Kvantemekanikken og universets byggesten**
Klaus Mølmer
- 120 It – når det rykker**
Mogens Nielsen
- 134 En oplyst videnskab: temaer fra 1700-tallet**
Helge Kragh
- 148 Netværk og agurker med Bourbon whiskey**
Jens M. Olesen
- 162 Det forunderlige univers**
Hans Kjeldsen og Jørgen Christensen-Dalsgaard
- 178 Gåden om verdens største næse**
Peter Teglberg



Indholdsfortegnelse

- 192 **Vor urolige klode**
Bo Holm Jacobsen
- 208 **Myrerne og mennesket**
Mogens Gissel Nielsen
- 222 **Atomer afslører nyt om os og vor fortid**
Jan Heinemeier og Bente Philippsen
- 236 **Havbundens dybe biosfære**
Bo Barker Jørgensen
- 248 **Gastrofysik: videnskab, velsmag og velbefindende**
Ole G. Mouritsen
- 262 **Krybdyrenes halve hjerte og kredsløbets udvikling**
Tobias Wang
- 278 **Doping, sundhed og fair konkurrencer**
Verner Møller og Ask Vest Christiansen
- 292 **Pattedyrenes mælk**
Torben Ellebæk Petersen
- 304 **Naturen i bevægelse – klimaets betydning for den biologiske mangfoldighed**
Jens-Christian Svenning
- 320 **Acceleratorer – fysikkens store maskiner**
Søren Pape Møller
- 336 **Hvorfor ældes vi? – når vor molekyler gør os gamle**
Tinna Stevnsner
- 348 **Tycho Brahes liv, død og efterliv**
Jens Vellev
- 366 **Nanoteknologi og nanoscience – den næste industrielle revolution?**
Flemming Besenbacher, Kaj Mikael Jensen og Peter Thostrup





Brian Bech Nielsen, th.
er rektor for Aarhus Universitet.

I perioden 2011-2013
var han dekan for fakultetet
Science and Technology

Erik Meineche Schmidt

er rådgiver for
universitetsledelsen
ved Aarhus Universitet.

I perioden 2002-2010
var han dekan for det
Naturvidenskabelige Fakultet

Forord

Brian Bech Nielsen og Erik Meineche Schmidt

Albert Einstein har haft en afgørende indflydelse på den moderne fysik og dermed også på vores forståelse af verden omkring os.

Indirekte har han også en del af æren for nærværende bog. I 1905 skrev Einstein nemlig tre videnskabelige artikler, der revolutionerede fysikken – og til markering af 100-året for artiklerne erklærede FN 2005 for "Verdens Fysikår". Det Naturvidenskabelige Fakultet på Aarhus Universitet og Ingeniørhøjskolen i Aarhus markerede Fysikåret med seks foredrag om Einsteins arbejder og tanker. Foredragene blev godt modtaget, og et par hundrede mennesker mødte op til hvert af dem.

På baggrund af Einstein-foredragene foreslog Det Naturvidenskabelige Fakultets kommunikationschef, Jens Holbech, at succesen skulle følges op med en mere permanent foredragsrække – og siden 2006 har der hvert år været afholdt "Offentlige foredrag i Naturvidenskab", arrangeret af Det Naturvidenskabelige Fakultet (i dag Science and Technology) i samarbejde med Folkeuniversitetet i Aarhus. Denne bogs indledende kapitel indeholder en nærmere beskrivelse af foredragsrækken og dens udvikling.

Det er en af universitetets fornemste opgaver at formidle viden til den interesserede samfundsborger, og det foregår i rigt mål og i mange sammenhænge. De offentlige foredrag i naturvidenskab ved Aarhus Universitet fortjener imidlertid at blive fremhævet på grund af den helt særlige institution, de har udviklet sig til.

Foredragene trækker fulde huse – op mod 1.000 tilhørere pr. aften – og hvert foredrag

gentages tre aftener i træk for at imødekomme efterspørgslen. Der er rift om pladserne i en sådan grad, at når billetterne gives fri, er hovedparten af dem revet væk på få timer. På den baggrund er vi nogle, der lidt spøgefuldt har draget sammenligninger med den trængsel, der opstår, når der sælges billetter til en populær rockkoncert.

De offentlige foredrag i naturvidenskab er en klar succes, og det er de først og fremmest, fordi kvaliteten er helt i top, såvel fagligt som organisatorisk. Alt det praktiske klapper, foredragene er godt forberedte, og foredragsholderne brænder for at formidle deres forskning. Sidst, men ikke mindst, er publikum tændt, og det giver en kombination, der – når det hele går op i en højere enhed – resulterer i en nærmest magisk aften.

Givet det store materiale, foredragene repræsenterer, var det en oplagt idé også at bruge bogformen til at formidle de spændende naturvidenskabelige emner. Nærværende bog indeholder derfor 25 artikler, som er baseret på 25 af de offentlige foredrag i naturvidenskab.

Vi takker de mange foredragsholdere, forfatterne, bogens redaktion samt arrangørerne og deres stab af medhjælpere for en stor indsats. Og vi ønsker læserne god fornøjelse med (endnu) et kig ind i det fascinerende naturvidenskabelige univers.

*Januar 2014
Brian Bech Nielsen og
Erik Meineche Schmidt*

Umiddelbart skulle man ikke tro, at foredrag om naturvidenskab kan tiltrække tusindvis af tilhørere aften efter aften. Men Offentlige foredrag i Naturvidenskab ved Aarhus Universitet har fejlet enhver skepsis af bordet. At foredragsrækken har udviklet sig til en kulturbegivenhed uden side-stykke, skyldes forskernes begejstring kombineret med hårdt arbejde bag kulisserne.



Carsten R. Kjaer er cand.scient. i geologi og er en af to redaktører af tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab*, som udgives i samarbejde mellem de danske universiteter.



Når naturvidenskab trækker fulde huse

Af Carsten R. Kjaer

Ud af elfenbenstårnet


Formidling af videnskab til den brede befolkning har en lang tradition i Danmark. Den danske fysiker og kemiker H.C. Ørsted (1777-1851) har om nogen stået som symbol for den holdning, at viden om ny erkendelse og indsigt i naturens mysterier ikke skal holdes inden for en eksklusiv elite af lærde. Samtidig med at han opnåede verdensberømmelse som elektromagnetismens opdager, har hans indsats inden for formidling sat sig varige aftryk. Bl.a. udviklede han en kemisk nomenklatur på dansk, hvorfra vi kender udtrykkende ilt, brint, kvælstof mv.

Langtfra alle videnskabsfolk har gennem tiden haft samme lidenskab for formidling som Ørsted. Og det er vel en af grundene til, at der er opstået et udtryk som "elfenbenstårne" om universiteter. Der er dog ingen tvivl om, at de elfenbenstærnstendenser, der stadig måtte være tilbage i forskningsverdenen, er kraftigt på retur. Generelt vil forskere i dag

gerne kommunikere med det omgivende samfund.

Det er dog lettere sagt end gjort.

Siden Ørsteds tid er der sket en eksplosiv udvikling af forskningen, og i dag er der flere personer professionelt beskæftiget med forskning i naturvidenskab og teknik end nogensinde før. Samtidig er der sket en specialisering i en grad, så der kan synes længere og længere fra forskningsfrontens verden til den konkrete hverdag, vi alle kan forholde os til. Videnskabens hjemmebane er de videnskabelige tidsskrifter, som for menigmand forekommer som noget nær det rene volapyk. Den videnskabelige kommunikationsform, man således opdrages til som forsker for at

 Den perfekte foredragsaften kombinerer et højt fagligt niveau med formidling på tilhørernes præmisser og krydrer dette med humor, der får tilhørerne til at bryde ud i latter.



kunne gøre karriere i forskningsverdenen, er komplet uegnet til kommunikation med ikke-fagfolk. Og populær formidling er for mange forskere et håndværk, de ikke nødvendigvis lærer i løbet af deres uddannelse.

Bevidstheden om formidling som et håndværk og som en integreret del af det at bedrive videnskab er dog ved at rodfæste sig i fagmiljøerne. Derfor ser vi også mange dygtige formidlere træde frem fra fagmiljøerne i disse år, og mange vil uden tvivl komme til i fremtiden.

Et flagskib

Ud over forskernes lyst og evner til at formidle er det også nødvendigt at have platforme, hvorfra forskere faktisk kan formidle deres forskning til et interesseret publikum. Også i en form, hvor det kan foregå på forskernes præmisser. Det er nemlig langt fra alle forskningsresultater, der lader sig presse ind i et format, hvor de kan fyres af som en "one liner" i et 15 sekunder langt nyhedsindslag.


I den sammenhæng træder *Offentlige foredrag i Naturvidenskab* ved Aarhus Universitet frem som et flagskib. Foredragsrækken har vist, hvor stor efterspørgslen på videnskabelige kulturoplevelser i virkeligheden er, hvis man sætter tilstrækkeligt mange ressourcer ind på at afvikle et professionelt arrangement og løbende skalerer det efter efterspørgslen.

Som også nævnt i forordet udsprang ideen til foredragsrækken af seks foredrag om Albert Einsteins arbejder, som blev arrangeret tilbage i 2005 i anledning af Verdens Fysikår. Siden foråret 2006, hvor foredragsrækken blev lanceret, og til udgangen af 2013 har der været afholdt knap 90 foredrag. Og i dag kommer der ofte 2.000 tilhørere til et foredrag, der afvikles over tre aftener.

Udviklingen i foredragsserien

Efter lanceringen blev foredragene hurtigt så populære, at en del af tilhørerne kom en hel time før foredraget og stod i kø med en pizza eller en medbragt madpakke. Ja, faktisk kom




 I 2012 åbnede to interdisciplinære forskningscentre med base i fakultetet Science and Technology. Ved begge åbninger blev der afholdt en ekstraordinær foredragsaften under *Offentlige foredrag i Naturvidenskab*, hvor forskere fortalte om den forskning og de mål, de nye centre står over for. Her er et billede fra åbningsforedragene for Arctic Research Center.

der til det første foredrag i efteråret 2006 så mange, at flere måtte gå igen uden at få en plads.

Derfor blev der udviklet et pladsreserveringssystem, så man nu undgår, at folk går forgæves. Der er i dag tusinder af abonnenter på foredragenes nyhedsbrev og facebook-gruppe, og de fleste billetter er reserveret, få timer efter der bliver åbnet for tilmelding.

Allerede i foråret 2007 voksede interessen for foredragene så meget, at arrangørerne måtte inddrage ekstra auditorier. Et videokamera filmer hver aften foredragsholderen og sender billeder live til de andre auditorier i



 Afviklingen af foredragene styres med kyndig og myndig hånd af studentermedhjælpere, der fx sørger for, at op til 800 deltagere kan nå at købe og indtage kaffe, te, frugt og kage i den indlagte pause i de to timer, et foredrag varer.

bygningen med Søauditorierne. På den måde er både slides og foredragsholder "til stede" i alle auditorierne. På de mest travle aftener er der tilhørere i fem auditorier på samme tid.

I efteråret 2008 blev et par af foredragene udbudt to gange i træk, og begge aftener kom der masser af tilhørere. Samtidig tilbød Matematisk Kantine mulighed for at købe en foredragsbuffet inden selve foredragene. Begge eksperimenter blev en succes, og både buffet og foredrag blev derfor udbudt fast to aftener i træk fra foråret 2009.

Allerede året efter oversteg interessen atter antallet af pladser, og endnu en aften

måtte tages i brug. Siden er de fleste foredrag udbudt tre aftener i træk: Ca. 20.000 tilhørere tilmelder sig på årsbasis de velbesøgte foredrag.

Ringene i vandet


Publikum til Offentlige foredrag i Naturvidenskab er bredt sammensat. Fra skoleelever til pensionister, fra interesserede borgere til professorer på universitetet, fra nysgerrige teenagere til nørdede fagfolk.

Flere vælger foredragsaftenerne på lige fod med en tur i teatret. Og mange, rigtig mange, kommer igen og igen – ofte som en del af en fast flok, der følges ad og hygger sig sammen. Publikum kommer fra et meget stort opland. De fleste kommer i sagens natur fra Aarhus og nærmeste omegn. Men der er også gæster, der trofast kører helt fra Odense og Ålborg. Og flere gymnasier benytter muligheden for at tilmelde en hel klasse samlet, hvis foredraget passer ind i deres undervisningsforløb.



Som arrangementet har udviklet sig, sammenligner flere af de faste tilhørere umiddelbart aftenerne med et VIP-arrangement til en fodboldkamp. Først er der spisning, hvor man lader op til begivenheden, dernæst to halvlege med en indlagt (kaffe)pause og til slut mulighed for uhøjtidelig og afslappende efterbehandling, deling og diskussion af oplevelsen på Steno Museet, som siden 2009 har holdt natcafé efter foredragene krydret med faglige indlæg af museets ansatte.


Mindre "satellitter" af foredragene er nu opstået i Herning, Horsens og Vejle, hvor foredragene i samarbejde med den lokale filial af Folkeuniversitetet og/eller gymnasium udbydes, efter at de har været på i Aarhus. Det betyder, at endnu flere får glæde af foredragene, samtidig med at de lokale arrangører ikke behøver at bekymre sig om at skaffe gode foredragsholdere.

 Siden 2009 har tilhørerne haft mulighed for at besøge natcafeen på Steno Museet efter foredragene. Det giver mulighed for at stille flere uddybende spørgsmål til foredragsholderen og nyde en kold fadøl eller et glas vin, inden dagen går på hæld. Derudover tilbyder museets ansatte korte, finurlige indlæg, der så vidt muligt tager udgangspunkt i aftenens foredragsemne, og som inddrager genstande fra museets udstilling.

Masser af benarbejde

Offentlige foredrag i Naturvidenskab har udviklet sig til en livskraftig institution, som så vidt vides er unik, såvel nationalt som internationalt. Hemmeligheden bag succesen er at tage opgaven alvorligt på alle niveauer. Forskerne skal naturligvis være villige til at investere bunker af tid på at forberede et spændende, indholdsrigt og forståeligt foredrag. I den proces bliver de grundigt coachet af arrangørerne, der hjælper med at ramme det rigtige faglige niveau – så alle fra skoleelever til forskerkolleger kan få udbytte af foredraget.



 De fleste foredragsholdere kommer fra fakultetet Science and Technology ved Aarhus Universitet som her professor Lars Peter Nielsen fra Institut for Bioscience. Men foredragserækken følger samme praksis som i forskningsverdenen, hvor forskere fra andre universiteter – fra Danmark eller udlandet – inviteres til at give forelæsninger.


Derudover kræver det et større apparat bag det hele at håndtere et så stort arrangement. Dels skal selve foredragene afvikles professionelt, så foredragene starter til tiden, teknikken ikke driller, eller der opstår kaos i forbindelse med at få tilhørerne på plads. Dels skal der være styr på tilmeldinger, nyhedsbreve, lokalereservationer, av-udstyr, kaffe og kage til pausen. Der er masser af detaljer at holde styr på og mange aftaler, der skal falde på plads for hvert eneste foredrag.

Ansvar for foredragene hviler på en arrangørgruppe, hvor den gennemgående og samlende figur er Jens Holbech, der tidligere

var kommunikationschef ved Det Naturvidenskabelige Fakultet. Sammen med lektor Helge Knudsen lancerede han ideen tilbage i 2005. Siden 2011 har seniorforsker Peter Bondo Christensen været en del af arrangørgruppen. Arrangørerne trækker på en stab af studerende for at få det hele til at køre. Derudover har en vigtig ingrediens også været frivillige kræfters store indsats. Specielt kan nævnes Povl-Henrik Lindhard, som har stået for udviklingen af nyhedsbrevs- og reservationssystemet, der har været afgørende for, at foredragserækken har kunnet vokse sig til en så stor publikumssucces, som den har.

Nu med bog ...

At overføre stemningen på en foredragsaften til et kapitel i en bog er umuligt, og derfor skal denne bog da heller ikke ses som blot et antal foredrag på skrift. Alle bidragsyderne til bogen har optrådt ved foredragserækken, og emnet for deres artikler er også det samme,

 I efteråret 2008 tilbød Matematisk Kantine på Aarhus Universitet som eksperiment en foredragsbuffet inden selve foredragene. Det blev en stor succes og er derfor blevet en permanent ordning, som rigtig mange tilhørere benytter sig af.

som de holdt foredrag om. Nogle af artiklerne læner sig ret tæt op ad foredraget, mens andre tager afstikkere og lægger nye vinkler på emnet.

Selvom artiklerne i mange tilfælde tager udgangspunkt i helt aktuelle forskningsemner, har de samtidig tidløshedens skær over sig, så artiklerne kan læses mange år fremover uden at virke uaktuelle.

I bogen vil den enkelte forskers personlighed forhåbentlig stadig træde tydeligt frem. Artiklerne er blot ordnet i den rækkefølge, som foredragsholderne har optrådt ved foredragsrækken, og man vil derfor kunne springe rundt mellem emner helt efter lyst og interesse.

Samlet giver de 25 artikler i bredeste forstand smagsprøver på, hvad danske forskere inden for naturvidenskab arbejder med. Emnemæssigt spænder vi over alt fra det absolut mindste i elementarpartiklernes verden til forståelsen af hele universets opbygning, fra det meget abstrakte som kvantemekanik til det meget praktiske som, hvordan vi kortlægger undergrunden for grundvand, fra det helt store perspektiv på, hvordan biodiversiteten påvirkes af klimændringerne, til den målrettede afklaring af, hvad kaskelotten bruger sin store næse til. Fra det historiske om naturvidenskabens udvikling i 1700-tallet til det absolut aktuelle om forskning i fx nanoscience.


Har man blot en anelse interesse for naturvidenskab, burde det være let at lade sig rive med af disse 25 fascinerende indblik i naturvidenskabens forunderlige univers.

God fornøjelse.





Mere om emnet

<http://scitech.au.dk/foredrag>

 Siden 2008 har den såkaldte Ig Nobelpris og dens stifter, Marc Abrahams, været en fast bestanddel af Offentlige foredrag i Naturvidenskab. Ig Nobel-prisen sætter hvert år fokus på forskningsresultater, der både er kreative og seriøse, men samtidigt usandsynlige og bizarre. På fotoet ses Ig Nobelprisvinder Dan Meyer fra USA, der modtog prisen i medicin for studiet af de medicinske bivirkninger af sabelslugning. Her ses han i 2009 i Søauditorierne, hvor han tog sin "egen medicin".



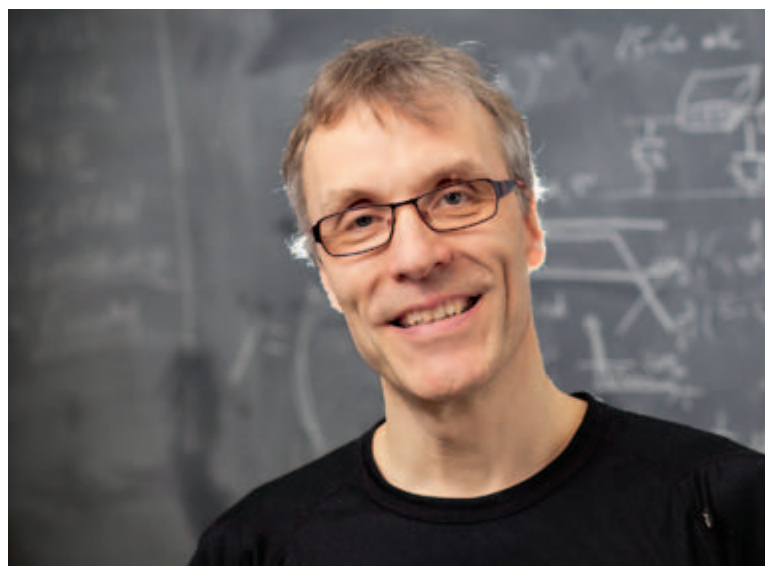
 Et af de mere stilfulde eksempler på en "gæsteoptræden" ved foredragsrækken var, da Aarhus Studenter-Sangere deltog i forbindelse med foredrag om årets nobelpriser.

 Flagermuslygterne viser tilhørerne vej – både fra foredragsbuffetten til Søauditorierne og efter foredragene fra Søauditorierne til natcaféen i Steno Museet. I vinterhalvåret er de et lys i mørket og er efterhånden blevet et visuelt symbol for Offentlige foredrag i Naturvidenskab.



.....

Kvantemekanikken er en fantastisk og forunderlig teori fra begyndelsen af det 20. århundrede. Teorien beskriver universets mindste byggesten som paradoksale og uforudsigelige: De er tilsyneladende flere steder på én gang, og målinger på dem giver altid tilfældige resultater. Man forstår ikke kvantemekanikken, men man vænner sig til den, og forskningen frembringer stadig nye aspekter og anvendelser af kvantemekanikken.



Klaus Mølmer er professor i fysik ved Aarhus Universitet. Han har beskæftiget sig med den teoretiske beskrivelse af målinger i kvantemekanikken, og han har foreslået metoder til anvendelse af kvantefysiske effekter i superhurtige kvantecomputere. Klaus Mølmer er desuden en erfaren formidler, som i en række populærvidenskabelige artikler, bøger og foredrag har formidlet sin viden om fysik og kvantemekanik.

Kvantemekanikken og universets byggesten

Af Klaus Mølmer

Småt er godt, men ikke for den klassiske fysik

Den klassiske fysiks love gør os i stand til at beregne og forklare, hvordan kræfter får ting til at bevæge sig – helt fra fjedrenes og tandhjulenes bevægelse i et lommeur til planeternes og stjernernes bevægelse på himlen. Siden begyndelsen af 1900-tallet har fysikere og kemikere vidst, at alt stof omkring os er opbygget af atomer og molekyler, og den danske fysiker Niels Bohr er verdensberømt for i 1913 at have beskrevet atomer som elektrisk ladede elektroner og kernepartikler, holdt sammen af elektriske kræfter. Elektronernes bevægelse omkring atomkernerne foregår ufatteligt hurtigt og på en nærmest ufattelig lille længdeskala: En million milliard kredsløb foretager elektronen hvert sekund, og så lille er dens afstand til brintkernen, at hundrede millioner brintatomer ved siden af hinanden blot fylder en centimeter.

Endnu sværere at fatte er dog de fysiklove, der styrer den måde, de mikroskopiske partikler bevæger sig på. Den klassiske fysiks love bryder nemlig fuldstændigt sammen på den mikroskopiske skala, og i denne artikel vil jeg fortælle historien om den nye teori, fysikerne udviklede i de første årtier af det 20. århundrede. Det blev den mest succesfulde, den mest eksakte og den mest mærkværdige teori i naturvidenskaben: kvantemekanikken.

Lys og kvanter


Den engelske fysiker Isaac Newton (1643-1727) fremsatte i sin bog *Principia* i 1687 en

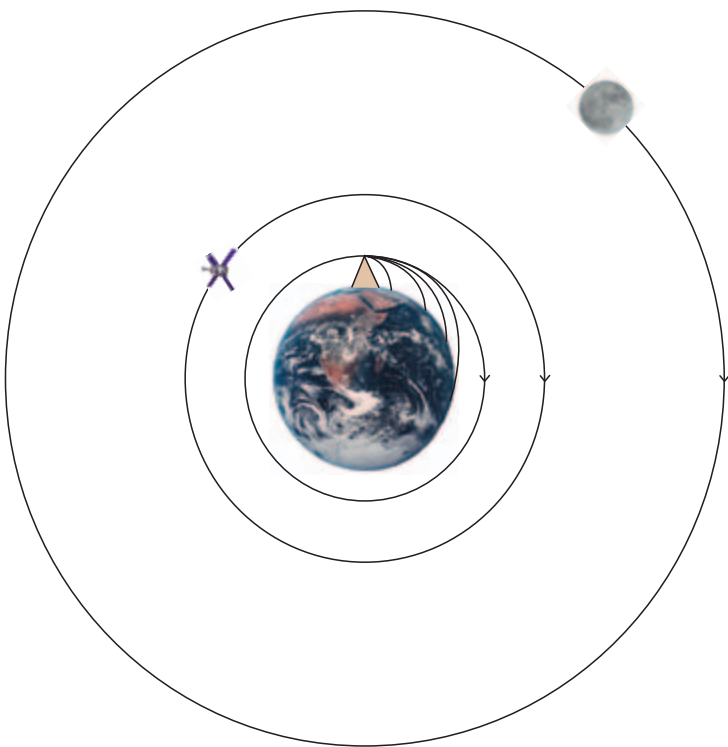
simpel formel, $F=m \times a$ (kraft er lig med masse gange acceleration), som revolutionerede menneskets forståelse af verden: Bevægelse kan beskrives kvantitativt, den har en årsag, og den følger en generel lovmæssighed, som ikke er specifik for et bestemt objekt eller for en bestemt konkret situation. Planeternes baner om solen og et æble, der falder til jorden, beskrives ved anvendelse af den eksakt samme sammenhæng mellem de tyngdekræfter, der virker mellem massive objekter og den bevægelse, de derfor vil udføre. Under påvirkning af tyngdekraften, de elektriske kræfter, fjederkræfter, gnidningskræfter m.m. kan man med Newtons berømte formel beskrive alle de bevægelsesfænomener, vi kan iagttage omkring os.

Danskeren H.C. Ørsted opdagede i 1820, at en variation i elektrisk strøm i en ledning giver anledning til en kraftpåvirkning på en kompasnål, og den britiske fysiker James Clerk Maxwell (1831-1879) forenede i anden halvdel af 1800-tallet Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen med andre observationer ved elektriske og magnetiske fænomener i et sæt matematiske formler. De redegør bl.a. for, hvordan elektriske og magnetiske felter opstår i vekselvirkning med hinanden og udbreder sig med lysets hastighed som en bølgebevægelse gennem det tomme rum. Lys, mikrobølger og radiobølger er eksempler på Maxwells bølger, og de adskiller sig fra hinanden ved afstandene og frekvenserne af de elektriske og magnetiske feltvariationer. Den rumlige variation af en bølge, bølgelængden, er i synligt lys nogle få titusindedele af en

millimeter, og lysbølgerne svinger med en frekvens af et 14-cifret antal svingninger per sekund. Det, vi med synssansen oplever som forskellige farver, beskrives i fysikken med forskellige værdier af lysbølgelængden eller frekvensen, og regnbuen på himlen forklares ved, at regndråber spredt sollysets forskellige bølgelængder i forskellige retninger.

Gløderne i et bål udsender lys, hvis farve skifter fra hvidglødende til rødglødende, når bålet køler ned. Maxwells ligninger forklarer sammenhængen mellem farve og frekvens,

 Isaac Newton præsenterede i sin bog "Principia" grundlaget for hele den klassiske mekanik. Newton's love forklarer på samme tid, hvordan tyngdekraften får æblet til at falde til jorden, og hvordan den får månen og planeterne til at bevæge sig i deres kredsløb – satellitterne og rumfærger følger samme formler, men dem kunne Newton ikke forudse i 1687.



mens man i varmelæren har en simpel proportionalitet mellem energi og temperatur. Det var i slutningen af 1800-tallet muligt at foretage præcise målinger ved forskellige temperaturer og indtegne grafer med lysets frekvensfordeling, men man kunne ikke forklare den observerede sammenhæng mellem temperatur og farve.

I år 1900 fandt den tyske fysiker Max Planck (1858-1947) på en matematisk formel, som passede godt med alle målingerne af lysets frekvensfordeling. Formlen indeholdt forholdet mellem lysets frekvens og den termiske energi. Den samlede mængde af energi i en lysstråle varierer med lysets intensitet, men Planck foreslog, at der til lysbølger med bestemt frekvens svarer en bestemt energimængde, hvis værdi er givet ved lysets frekvens. Denne energi er den mindste enhed eller det mindste kvantum for udveksling af energi mellem lys og stof. Max Planck kaldte sin teori kvanteteorien, og sammenhængen mellem energi og frekvens skrives $E=h \times f$, hvor h i dag betegnes Plancks konstant.

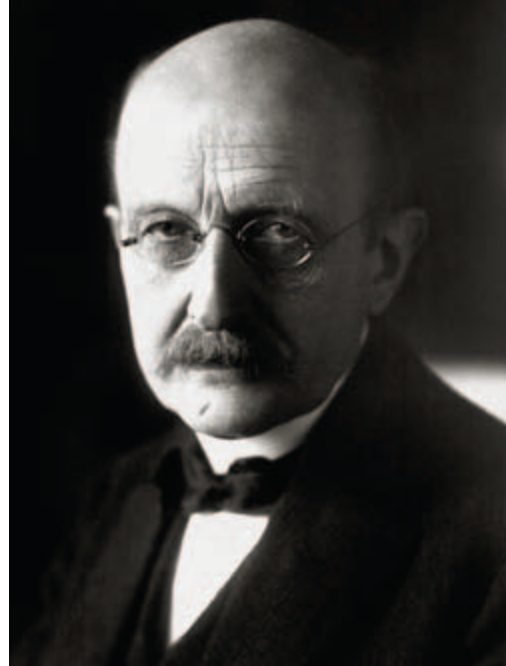
Albert Einstein, som i de samme år var travlt optaget af sin berømte relativitetsteori,


viste i 1905, at Plancks kvanteteori kunne forklare den såkaldte fotoelektriske effekt: Belyser man en metaloverflade, kan man iagttage en elektrisk strøm, som imidlertid forsvinder, hvis lysets frekvens reduceres. Einstein foreslog, at strømmen skyldes, at enkelte af Plancks kvanter absorberes og løsriver elektronerne fra materialet, men hvis frekvensen bliver for lav, har de ikke energi nok til at løsrive elektronerne. Er Plancks kvanteenergi derimod større end nødvendigt, bliver elektronen blot løsrevet med større fart, og det havde man faktisk også observeret. Einstein foreslog også, at man helt bogstaveligt skulle opfatte lys som en samling lyskvanter, hvis antal er bestemmende for lysets intensitet. I dag kalder vi lyskvanterne fotoner. En Watt angiver en energimængde per tid, svarende til et 18 cifret antal fotoner pr sekund, så almindeligt dagslys eller lyset fra en 60 Watts-pære indeholder ufatteligt mange fotoner.

Einstein påpegede imidlertid også et alvorligt problem med kvantebeskrivelsen: Hvis lysbølger og radiobølger er elektriske og magnetiske felter, som udfører svingninger i store dele af rummet på samme tid, hvad sker der så med det svingende felt for en enkelt foton, når den løsriver en elektron fra et metal et bestemt sted i rummet? Hele fotonens energi er jo absorberet, men hvordan kan feltet i stor afstand fra det sted, hvor elektronen blev løsrevet, "vide", at det pludselig ikke skal svinge længere? Einsteins bekymring var et forvarsel om de berømte diskussioner, som han senere indædt skulle føre med Niels Bohr om kvantemekanikkens fysiske og filosofiske fortolkning.

Atomer

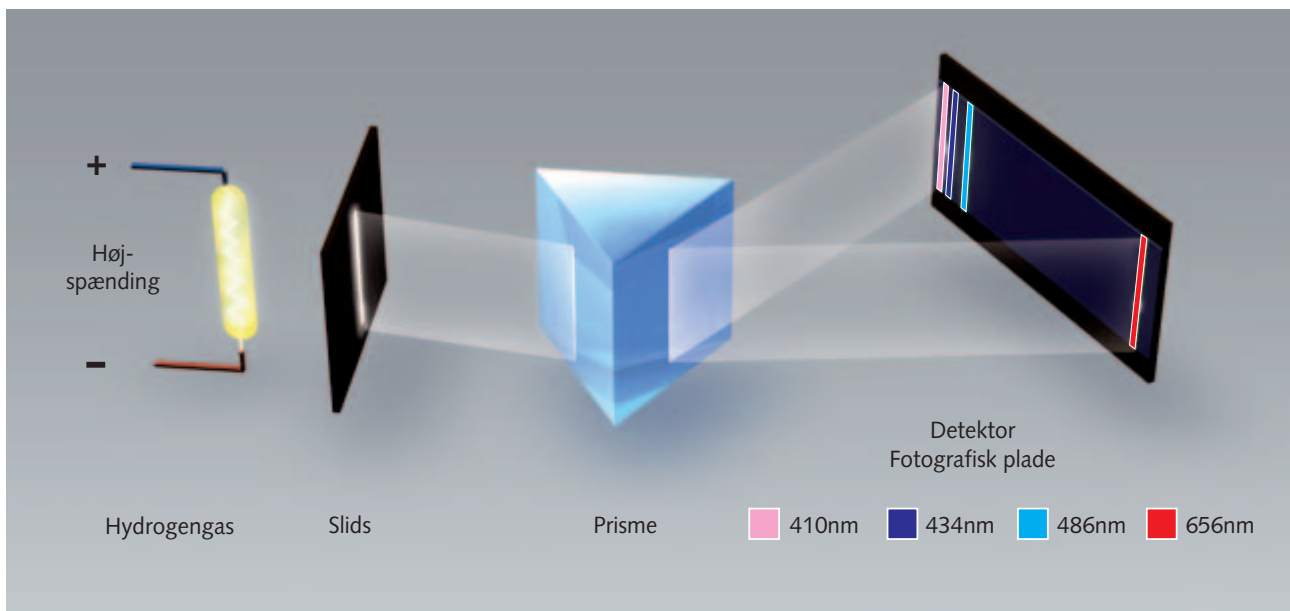
De græske naturfilosoffer forestillede sig, at der findes en mindste udelelig bestanddel af stof, atomet, og med detaljerede studier af kemiske processer i 1800-tallet fik hypotesen om atomer og molekyler i gasser videnskabelig form. Da den negativt elektrisk ladede elementarpartikel – elektronen – og de tunge



 *Max Planck opdagede, at energi i lysstråler udsendes og absorberes i mindste mængder eller kvanter, som er proportionale med lysets frekvens, og han kaldte derfor sin teori for kvanteteorien.*

positivt ladede kernepartikler var blevet observeret i starten af 1900-tallet, var banen kridtet op for Niels Bohrs atommodel: Den elektriske kraft har samme matematiske afhængighed af afstande som tyngdekraften, og anvender man Newtons klassiske formel, $F=m \times a$, finder man, at en eller flere elektroner kredser i cirkel- eller ellipseformede baner om den meget tungere atomkerne, ligesom satellitterne kredser om Jorden.

Når lyset fra solen og stjernerne splittes op i regnbuens farver, ser man – udover Plancks fordeling af lysbølgelængder – et stort antal mørke striber ved farver, hvor lyset "mangler". Striberne er karakteristiske for forskellige stoffer, og et perfekt match mellem et sribemønster i lyset fra en stjerne og fra en jordisk lyskilde med et bestemt materiale viser, at det samme materiale må være til stede på Jorden og i stjernen. Den orange vejbelysning langs motorvejene skyldes natriumlamper, og striber ved præcist de samme farver i solens lys afslører således forekomsten af natrium i solens atmosfære. Midt i 1800-tallet fandt man striber i sollyset,




som aldrig var set i lyskilder på Jorden, og man tilskrev dem et nyopdaget stof, som man opkaldte helium efter solens græske navn, Helios. Først senere identificerede man gasarten helium, som er så let, at den ikke findes naturligt i Jordens atmosfære.

Hvis elektronerne bevæger sig om kernen som planeter om solen, skulle atomet ifølge Maxwells teori udsende stråling med en frekvens svarende til deres omløbsfrekvens, og elektronbaner med en radius svarende til et atoms typiske størrelse vil faktisk have omløbsfrekvenser tæt på de målte lysfrekvenser. Udfordringen var at forklare fremkomsten af de helt særlige lysfrekvenser. En given lille ændring af afstanden til kernen vil føre til en bane med en tilsvarende lille ændring af omløbsfrekvensen, og der er ingen fysisk mekanisme, der kan forklare de helt specielle frekvenser, man observerer i lyset.

Bohrbaner og kvantespring

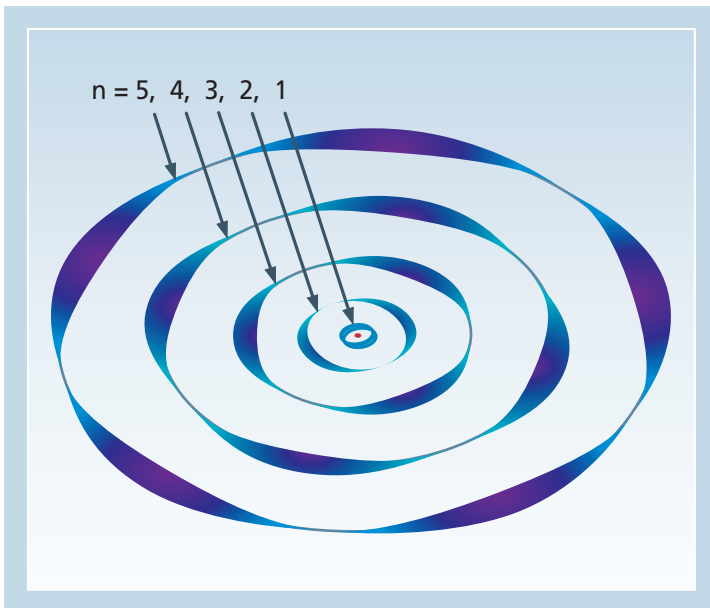
Niels Bohr foreslog derfor i et dristigt brud med Newtons og Maxwells teorier – de absolutte hjørneste i fysikken: Elektronerne kan kun bevæge sig i planetlignende baner ved bestemte afstande til kernen, og under bevægelsen i disse baner er elektronens energi


 Spektrometer, der opsplitter lys fra en gas afbrint i linjer. Når lyset fra en gas afbrint, eller et vilkårligt andet grundstof, opsplittes i dens farvespektrum, ser man ikke alle regnbuens farver men kun helt bestemte karakteristiske farver. Niels Bohr's model for atomet forklarer hvorfor.

bevaret, og der forekommer ingen stråling. I stedet udveksles der strålingsenergi med omgivelserne, når elektronen uden varsel springer mellem de lovlige baner i pludselige kvantespring.

Det er fundamentalt i fysikken, at den samlede energi er bevaret i alle fysiske processer. Forskellen i elektronens energi ved et spring mellem to af Bohrs særlige baner skal derfor svare til strålingsenergien i et udsendt eller absorberet lyskvantum. Plancks lyskvanter har energier, som er proportionale med frekvensen af lyset, og Bohrs atommodel forklarer derfor, at der er striber ved helt bestemte farver i lyset.

Niels Bohr argumenterede for, at man ved meget store baner skulle genfinde den klassiske fysiks resultater, og at springet i energi derfor måtte give stråling med samme frekvens som elektronens banebevægelse i de meget udstrakte baner. Den egenskab førte til en matematisk formel, som passede med meget stor præcision på alle de målte



 I Niels Bohrs atommodel bevæger elektroner sig i mikroskopiske planebaner omkring atomkernen. Kun baner ved bestemte afstande passer med eksperimenterne, og Louis de Broglie foreslog, at en periodisk bølgebevægelse netop går op i banernes omkreds.



lysfrekvenser. Med en senere justering, der korrigerede nogle få promille for Einsteins specielle relativitetsteori, stod man før 1920 med en teori, der forudsiger frekvenserne i brintatomets lysspektrum med bedre end en milliontedels nøjagtighed. Intet andet fysikfænomen havde tilladt så præcis og så succesrig en sammenligning af teori og eksperimentelle observationer.

Der findes omtrent hundrede forskellige slags atomer: de såkaldte grundstoffer. De


adskiller sig fra hinanden ved at have forskellige antal elektroner i kredsløb om atomkerner med forskellig størrelse og elektrisk ladning. Bohrs banebeskrivelse forklarer de forskellige stoffers kemiske egenskaber ved elektronernes tilbøjelighed til at lade sig indfange af de elektriske kræfter fra andre atomer. De større atomer er meget sværere at beskrive præcist end brint, fordi elektronerne frastøder hinanden, og deres baner omkring atomkernen derfor er sværere at beregne, og for heliumatomet med bare to elektroner opnåede man end ikke en bare nogenlunde overensstemmelse med de målte værdier. Bohrs banebeskrivelse fungerede perfekt for brint, men den kunne ikke bruges til præcise forudsigelser for andre atomer. Efter et helt årtis anstrengelser stod det klart, at man måtte finde en ny og bedre beskrivelse af atomerne, men hvordan kunne man forene den med den allerede kendte viden?

Partikler og bølger

Den franske fysiker Louis de Broglie (1892-1987) foreslog, at man kunne se på Bohrs baner i et nyt lys, hvor elektronen måske ikke følger en planetlignende bane, men snarere udfører en bølgebevægelse om kernen. Bohrs helt bestemte baner passer netop med sådan en bølgebevægelse, hvis omkredsen er et helt antal bølgelængder, og bølgelængden er omvendt proportional med elektronens hastighed. Det var langt fra klart, hvad elektronens bevægelse skulle have med bølger at gøre, men bølgebevægelsen af en svingende guitarstreng eller af luften i en orgelpibe giver anledning til musikinstrumenternes karakteristiske tonesvingninger ved bestemte frekvenser, og en bølgeteori kunne måske derfor også forklare de særlige lysfrekvenser.

Den østrigske fysiker Erwin Schrödinger (1887-1961) satte sig i 1925 for at beskrive de Broglies bølger matematisk, og blandt de ligninger, man allerede kendte for lys og lydølger og svingende strenge, fandt han en, som netop giver svingninger ved de frekven-



 Erwin Schrödinger, ophavsmand til kvantemekanikkens grundligning og en livlig debattør af teoriens mærkværdige resultater.

ser, man ser i lyset fra brintatomet. På samme måde som i musikinstrumenterne fremkommer de rette frekvenser direkte fra den nye bølgeligning og ikke ved at påstå særlige spilleregler for Newtons og Maxwells fysik. Elektronernes mekaniske energi kan ifølge Schrödingers ligning kun antage bestemte værdier. Den nye bølge teori for mekanisk bevægelse betegnedes kvantemekanikken.

På samme måde som Newtons ligning, $F=m \times a$, er helt generel og virker for alle slags kræfter, anvendes Schrödingers ligning på mange forskellige fysikproblemer, idet løsningerne til ligningen antager forskellige former afhængigt af, hvilke kræfter de kvantemekaniske partikler er udsat for. Den første store sejr for Schrödingers ligning kom, da den norske fysiker Egil Hylleraas udførte en omtrentlig løsning af ligningen for

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V\psi$$

 Schrödingers ligning
– så kompakt kan grundlaget for kvantemekanikken skrives.

heliumatomet og kom meget tæt på de målte værdier.

Schrödingers ligning er kvantemekanikkens grundlæggende ligning, og den har indtil i dag altid givet resultater i god overensstemmelse med de eksperimentelle undersøgelser. Kvantemekanikken giver det mikroskopiske fundament for vores forståelse af stoffers kemiske, mekaniske, elektriske og optiske egenskaber. Den fungerer fantastisk, og den kan både forklare kvantitative resultater og mere kvalitative egenskaber ved de undersøgte fysiske systemer.

Kvantemekanikkens fortolkning

Hvad er det, der bølger? Forsøg med registrering af de kvantemekaniske partikler viser, at man kan opfatte bølgens matematiske form som en sandsynlighedstæthed: Ved store talværdier i bølgens form ses partiklerne ofte, ved små talværdier sjældent. Da næsten alle fysikforsøg involverer målinger på meget store antal mikroskopiske partikler, er den mest udbredte anvendelse af bølgefunktionen netop at forudsige, hvordan måledata fordeler sig i eksperimenter. Men det er underligt og måske ikke helt tilfredsstillende, at vi ikke kan forudsige, hvor de enkelte partikler detekteres, men kun give sandsynligheder som ved et terningkast.

At det er svært at forstå kvantemekanikken, skyldes, at man på samme tid skal tænke på de mikroskopiske partikler som partikler

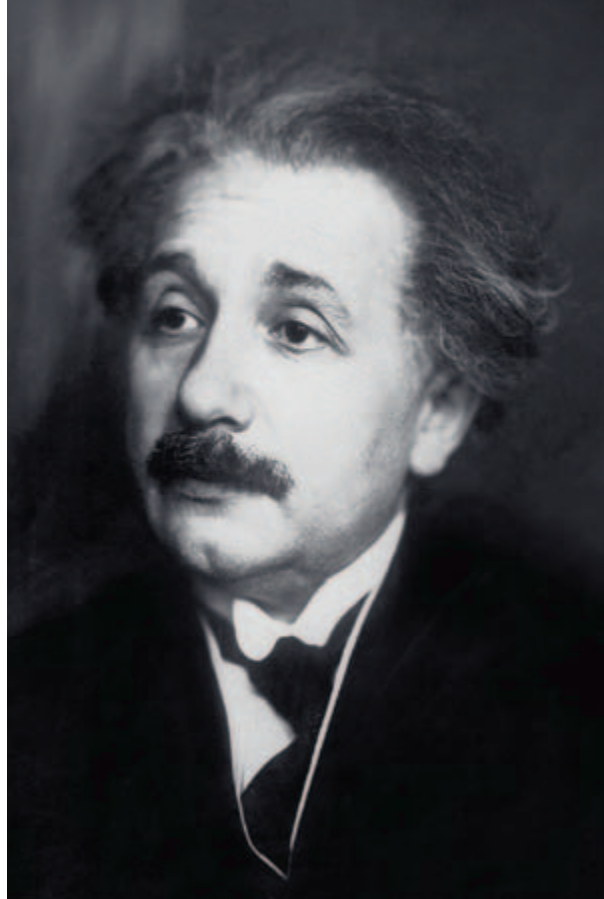
i klassisk fysisk forstand og som bølger. I forsøg registrerer vi partiklers ankomst på en film eller en skærm, som om de er klassiske partikler, men de mange registreringer udgør tilsammen mønstre, hvis form vi forudsiger på basis af bølgebeskrivelsen. Hvis der er tale om partikler, hvorfor ser man så bølgemønstrene? Hvis der er tale om, at hver enkelt elektron faktisk er en bølge med en udsmyrt fordeling i rummet, hvad afgør så, hvor man ser den? Og hvordan kan den udsmyrte fordeling i en del af rummet "vide", at den skal forsvinde, når elektronen registreres et andet sted på filmen eller skærmen? De spørgsmål stillede Einstein til Plancks lyskvantum 20 år tidligere, og nu stillede han det igen til Schrödingers bølgefunktion.


Schrödinger, Einstein og Bohr var enige om, hvordan bølgefunktionen beregnes, og hvad den kan bruges til, men de var uenige om, hvad "der sker i virkeligheden", og det afstedkom så indædte diskussioner af konsekvenserne af kvantemekanikken, at Erwin Schrödinger til sidst udtalte om kvantemekanikken: "Jeg bryder mig ikke om det og er ked af, jeg nogensinde har haft noget med det at gøre", mens Albert Einstein mente, at "hvis kvanteteorien er korrekt, er det enden på fysikken som videnskab."

"Lad os tænke os et eksperiment"

I deres diskussioner af problemerne med kvantemekanikkens fortolkning satte Einstein og Schrödinger teorien på spidsen ved at studere konsekvenserne af teorien i såkaldte "tankeeksperimenter". Et tankeeksperiment er et forsøg, som ikke udføres i virkeligheden, men hvor bare diskussionen af forsøget udfordrer forståelsen af fysikken.

Einstein angreb i 1927 kvantemekanikken med et tankeeksperiment, hvor en skærm med to åbninger beskydes med elektroner. Kvantemekanikken beskriver elektronerne som en bølge, der kan passere gennem begge åbninger i skærmen, og hvor bølgerne mødes, opstår der – som for lyd- og lysbølger – et



 *Albert Einstein beundrede Niels Bohrs atombeskrivelse, men var dybt uenig med Bohr om, hvordan kvantemekanikken skal forstås.*

stribet interferensmønster. Det betyder, at elektronerne vil blive detekteret enkeltvis, men i punkter som tilsammen danner en stribet fordeling. Elektronen lader sig i det enkelte forsøg registrere som en partikel, men det observerede stribemønster skyldes, at bølgen har udbredt sig ad forskellige veje gennem både det ene og det andet hul i spalten. I forsøget på at forstå, om en elektron undervejs gennem forsøgsopstillingen faktisk passerer gennem den ene spalteåbning, foreslog Einstein snedigt, at den nederste spalteåbning monteres i en plade, der er ophængt i en fjeder, så passagen af en enkelt elektron kan sætte pladen i bevægelse. I eksperimentet vil man kunne se hver elektrons aftryk som en prik, der bidrager til stribemønsteret, og samtidig afgøre, hvilken vej den faktisk har taget.

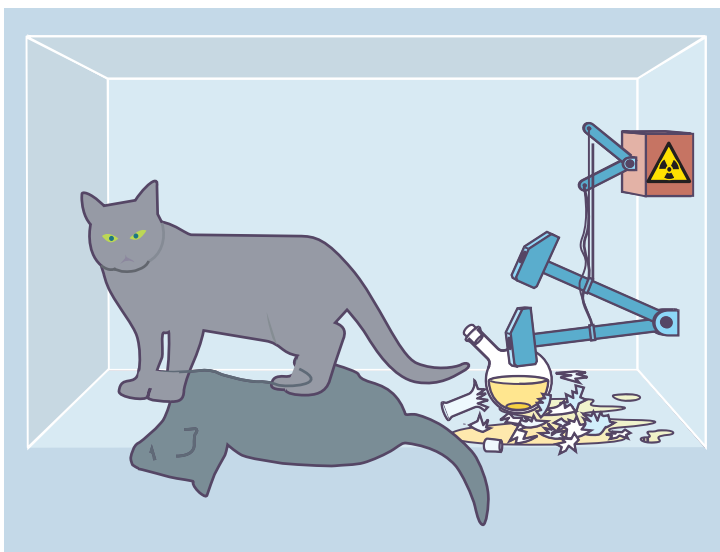
Bohr påpegede imidlertid en fejl i Ein-


steins argument: En skærm ophængt i fjedre er selv et kvantemekanisk objekt og skal også beskrives med en bølgefunktion, og derfor er der en statistisk usikkerhed om spalteåbningens position. Interferensmønstre afhænger kritisk af afstanden mellem kilderne til en bølge, og en usikkerhed om afstanden vil ødelægge interferensmønstret. Det undgås, hvis skærmen er ophængt i så stærke fjedre, at usikkerheden er lille, men så vil skærmen ikke bevæge sig tilstrækkeligt til, at vi kan registrere elektronens passage gennem den. Einsteins tankeeksperiment kan i en grænse registrere partikelegenskaben og i en anden bølgeegenskaben ved elektronen, men man kan ikke i samme forsøg måle begge.

Bohrs komplementaritet

Niels Bohrs analyse viste, at det i praksis ikke ville være muligt at bestemme alle aspekter af elektronens gøren og laden, sådan som Einstein havde håbet. Bohr gjorde sig i stedet til talsmand for et mere filosofisk, og måske mindre konventionelt fysisk synspunkt, som hævdede, at den naturvidenskabelige beskrivelse ikke nødvendigvis handler om, hvad naturen er eller gør, men om *hvad vi kan sige om den*. I Bohrs udlægning er den kvantemekaniske formalisme og bølgefunktionen en beskrivelse af *vores viden* om et fysisk system af mikroskopiske partikler – ikke en beskrivelse af systemet selv. De indbyrdes modstridende partikel- og bølgeaspekter var, ifølge Bohr, udtryk for en såkaldt komplementaritet: De er begge nødvendige for at give en tilbundsående beskrivelse – men man kan for en given eksperimentel opstilling enten studere det ene eller det andet aspekt, men ikke dem begge.

Schrödinger tog stærk afstand fra ideen om, at partiklerne i den mikroskopiske verden ikke skulle lade sig beskrive ved deres egen objektive opførsel, og at hans bølgefunktion kun skulle redegøre for vores evne til forudsige resultater af eksperimenter. Han foreslog et tankeeksperiment, hvor et

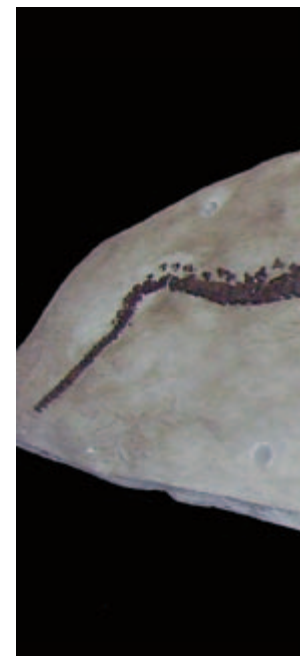


 Hvis kvantemekanikken tillader en mikroskopisk partikel at være flere steder på samme tid, og hvis partiklen påvirker en udløsermekanisme, der knuser en giftampul, ender den stakkels kat i Schrödingers berømte paradoks med at være både levende og død.

atom er koblet til en mekanisme, der udløses, når atomet henfalder. Herved knuses en ampul og frigiver en giftgas, som dræber en kat. Hele den makabre begivenhed foregår i en lukket kasse, og for en iagttager uden for kassen er det naturligt at tale om sandsynligheden for, at vi finder katten levende eller død, når vi åbner kassen. En statistisk forudsigelse af, hvad vi får at se, er måske en tilstrækkelig beskrivelse af virkeligheden for Niels Bohr, men katten har vel også en meget virkelig opfattelse af og interesse i, om den faktisk er levende eller død. Det samme har vel en mus, men har en bakterie? Har en virus? Hvor ophører den verden, hvor vi kan tale om, at målinger registrerer egenskaber, som de undersøgte objekter virkelig har, og hvor begynder den verden, hvis egenskaber ifølge Bohr kun er det, vi kan sige om vores erkendelse af den?


Aarhushistorier

Kvantemekanikkens succeser i alle områder af fysikken og kemien har gået hånd i hånd med en endnu ikke afsluttet strid om, hvad



den egentlig betyder. Fysikerne er i dag enige om, at kvantemekanikken virker fantastisk godt, men de er lige så uenige om, hvordan vi skal forstå den, som fysikere var på Einsteins og Bohrs tid. Teoriens mest mystiske og paradoksale konsekvenser studeres dog ikke længere kun som filosofiske spidsfindigheder. Flere af dem rummer nemlig kimen til interessante eksperimenter og måske ligefrem nyttige nye teknologier. Lad os slutte denne korte præsentation af kvantemekanikken med et par korte eksempler på forskning i det 21. århundrede med deltagelse af forskere fra Aarhus Universitet, hvor kvantemekaniske effekter studeres og anvendes på en måde, som teoriens skabere ikke kunne have drømt om.

Se i øvrigt også artiklen af professor Flemming Besenbacher, her omtales en dansk patenteret teknologi til en værdi af

 At forestille sig fortidsøglen *Ichthyosaurus* svømme levende omkring i en Zoologisk have ville iflg. Erwin Schrödinger i 1955 ikke være mere fjollet end at forestille sig fysikforsøg med enkelte atomer. Men at eksperimenterer med enkelte atomer er netop hvad forskere ved Aarhus Universitet gør i dag – illustreret af det indsatte billede af fem enkelte atomer fanget i en såkaldt ionfælde.

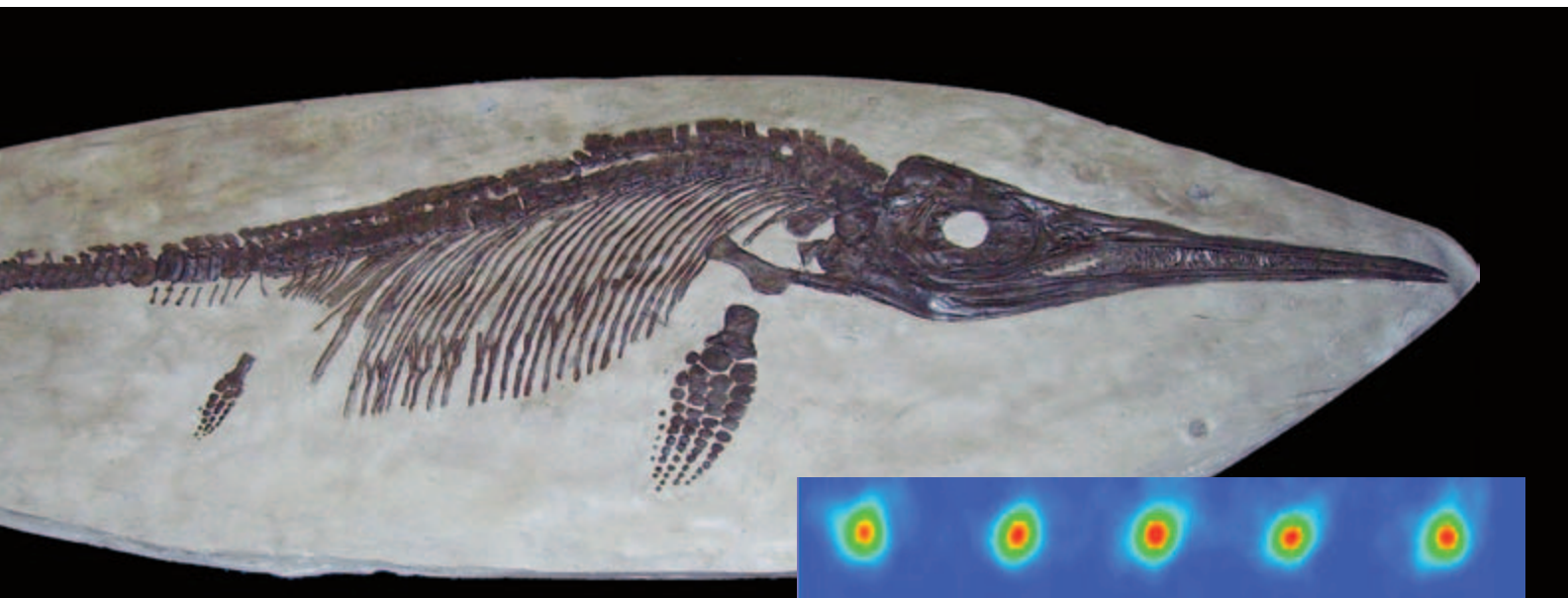
milliarder af kroner, som er navngivet efter en elektronisk kvantetilstand.

Fortidsøgler og fremtidens computer


I de fleste fysikforsøg studeres den samlede opførsel af rigtigt mange partikler, og den dybere fortolkning af, om det enkelte atom opfører sig tilfældigt eller ej, har ikke den store relevans for den praktiske, statistiske anvendelse af teorien. I 1950'erne gik Schrödingere endda så vidt som til at erklære, at selv tanken om det enkelte atom kun er en matematisk og filosofisk abstraktion, og han sammenlignede ideen om at udføre forsøg med enkelte atomer med den absurde mulighed for at opdrætte fortidsøglen *Ichthyosaurus* i zoologiske haver.

Absurd eller ej – de tekniske muligheder ændrede sig, og fra omkring 1980 har man i fysiklaboratorier kunnet studere enkelte kvantemekaniske systemer. Det gør man fx ved Ionfældelaboratoriet ved Institut for Fysik og Astronomi, hvor det er lykkedes professor Michael Drewsen at fotografere fem enkelte atomare ioner.

Ionerne er fanget ved hjælp af elektroder i et rigtigt godt vakuumkammer, og vi kan se





 Den danske fysiker Lene Vestergaard Hau er uddannet ved Aarhus Universitet og er i dag professor ved Harvard Universitetet i USA. Lene Hau er kendt for sine forsøg med at nedbremse lyset i kolde atomare gasser, så det bevæger sig med cykle-hastighed eller går helt i stå.

dem, fordi de rammes af en laserstråle og absorberer og udsender mange tusinde fotoner per sekund, mens elektronen skifter mellem to tilstande med en bestemt energiforskel i den enkelte ion. Der findes også en tredje tilstand, som elektronen kun sjældent springer til, men når det sker, passer laserens frekvens ikke længere. Så længe elektronen ikke af sig selv finder tilbage til de to tilstande, som passer med laserfrekvensen, vil den derfor ikke absorbere og udsende lys, og ionen vil ikke lyse op på billedet.

Schrödingers, Einstein og Bohrs tanker netop diskuteret, hvordan kvantemekanikkens statistiske forudsigelser vedrører partiklers individuelle og ikke blot gennemsnitlige ad-

færd. I eksperimentet med de fangede atomare ioner er det muligt at se, om en enkelt ion lyser med en svagere gennemsnitlig intensitet på grund af sandsynligheden for at være i den tredje, mørke tilstand, eller om den er skiftevis slukket og tændt med høj intensitet i takt med, at elektronen springer til og fra den mørke tilstand.

Svaret er, at ionen ikke lyser med en konstant gennemsnitlig intensitet, men i stedet udviser lyse og mørke perioder. Intensitetsvariationerne mellem de lyse og mørke perioder demonstrerer elektronens tilfældige kvantespring i et enkelt atom, og de afspejler de mikroskopiske processer i et kraftigt signal med mange tusinde registrerede fotoner per sekund. Signaler, hvor lysintensiteten skifter brat mellem lav og høj intensitet, er lette at udlæse, og de benyttes i meget præcise atomure og i de mest følsomme præcisionsmålinger, der nogensinde er foretaget.

Mange forskere beskæftiger sig i dag med konstruktionen af kvantecomputere, som benytter, at bølgefunktionen i en vis forstand beskriver kvantemekaniske partikler, som om de er flere steder på samme tid. Koder man tal med mikroskopiske partikler, kan en computer, bygget på kvantefysikkens regler, derfor regne på flere tal på samme tid og ved en enkelt gennemregning løse svære matematiske problemer meget hurtigere end selv de kraftigste supercomputere. Fangede ioner er en af de ideer til kvantecomputing, hvor den eksperimentelle forskning er nået længst, og hvor man har udført regneoperationer på tal op til 14 cifre i to-talsystemet.

At stoppe lys – og at starte det igen

Den danske fysiker Lene Vestergaard Hau blev uddannet ved Aarhus Universitet samme år som forfatteren til denne artikel, og hun er i dag professor ved Harvard University i USA. Lene Hau er kendt for sine forsøg med at nedbremse lyset i kolde, atomare gasser, så det bevæger sig med cyklehastighed eller går helt i stå.

Det er ikke så vanskeligt at stoppe en lysstråle. Det kan man gøre med et stykke papir, men i den proces bliver lyset enten absorberet eller reflekteret ud til alle sider, når vi ser den lysende prik på papiret. Lysstråleens energi og information om dens farve og stråleens retning gennem rummet går derved tabt, og det er ikke muligt at gendanne den oprindelige stråle igen. Det samme sker, hvis man lyser ind i en gas af rigtig mange atomer, som har elektroner med energier, der passer til absorption af den indkommende stråles frekvens.

I stedet for blot at lyse ind i gassen, så hver foton absorberes, belyser Lene Hau i sit forsøg gassen med endnu en lysstråle ved en anden frekvens, så elektronen straks bliver ført videre til en tredje, mere stabil kvantetilstand. Her bliver den helt passiv – som i de mørke intervaller i ionfældforsøgene beskrevet ovenfor – indtil man med en ny lyspuls fører elektronen tilbage, så den på kommando udsender lys ved den oprindelige frekvens.

Einstein bekymrede sig for, at fotonens bølgeinformation i store dele af rummet går tabt, når en foton detekteres, og en enkelt elektron løsriveres. Det sker ikke i Lene Haus eksperiment: Fotonen er en udstrakt bølge, og dens absorption sker ikke ved et enkelt atom i gassen, men overalt på samme tid. Skulle vi kigge efter, hvilket atom der har modtaget fotonens energi, vil et tilfældigt af atomerne give sig til kende, men lader vi være, forbliver bølgebeskrivelsen intakt, og alle atomer i gassen bidrager til at opbevare fotonbølgens energi, som derfor også kan udsendes igen senere, når elektronen løftes tilbage i den udstrålende tilstand.

I et avanceret eksperiment blev lysstrålerne arrangeret sådan, at atomet, der absorberer fotonen og dermed bliver parkeret i den mørke tilstand, også får et rekylspark fra lyset og derfor bevæger sig væk fra de andre atomer og endda helt ud af gassen og ind i en anden gas af identiske atomer. Processen sker

også her ikke kun for et enkelt atom, men på samme tid for et, et andet og et tredje ... , og når kontrollaseren herefter tændes og fører elektronen tilbage til den lysende tilstand, vil atomerne afgive deres energi tilbage til en lysstråle igen. Men i dette eksperiment bliver den altså udsendt fra et andet sted, end hvor den blev absorberet.

En teori med højt til loftet

Kvantemekanikken er på vej mod sit 100-års-jubilæum. Den giver en effektiv og eksakt beskrivelse, og den finder til stadighed nye anvendelser inden for fysik og kemi og i de seneste år også inden for biologi, medicin, matematik og datalogi.

Den danske fysiker Niels Bohr, som var en af de mest markante figurer ved tilblivelsen af kvantemekanikken og ved diskussionerne af dens betydning, sagde han engang: "De, som ikke chokeres, når de første gang støder på kvantemekanikken, kan umuligt have forstået den." Der er højt til loftet i kvantemekanikken, og det er bemærkelsesværdigt, at forskere, der er rørende enige i kvantemekanikkens formalisme og anvendelse, stadig strides om, hvad der egentligt foregår i den mikroskopiske verden.

Mere om emnet

- Bohr og kvantefysik. *Temanummer af KVANT*, marts 2013, rummer flere faglige og historiske artikler om kvantemekanikken. *KVANT* er tilgængeligt på internettet: <http://kvant.dk/>
- Bruun, L., Aaserud, F., Kragh, H. (red.) (2013). *Bohr på ny*. Forlaget Epsilon.dk.
- Faye, J. (2010). *Kvantefilosofi – ved erkendelsens grænser*. Aarhus Universitetsforlag.
- Kragh, H. (2000). *Fra KAOS til KOSMOS – Verdensbilledets Historie Gennem 3000 År*. Gyldendal.
- Mølmer, K. (2010). *Kvantemekanik – Atomernes Vilde Verden*. Aarhus Universitetsforlag.

Illustrationer

Vi har forsøgt at identificere rettighedshaverne til alle illustrationer i bogen, men det er ikke lykkedes i alle tilfælde. Hvis man mener at have copyright på billedmateriale brugt i bogen uden forudgående tilladelse, kontakt da venligst forlaget.

Forord

Side 6 (portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation

Når Naturvidenskab rækker fulde huse

Side 8 (portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation

Side 8 (lygte)

Side 9 (tilhørere) Lise Balsby, AU Kommunikation

Side 10 (isbjørn) Lise Balsby, AU Kommunikation

Side 11 (kaffepause) Lise Balsby, AU Kommunikation

Side 12 (Natcafé) Peer Mortensen

Side 13 (Portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation

Side 14 (Foredragsbuffet) Lise Balsby, AU Kommunikation

Side 15 Øverst (Sabelsluger): Lars Kruse, AU Kommunikation

Midt (Studenterkor): Peter Bondo

Nederst (lygte): Fotojournalist Jesper Voldgaard

Tidens relative gang

Side 16 (Portræt) Lars Kruse, AU Kommunikation

Side 18 (Einstein) Ferdinand Schmutzer

Side 19 (Galilei) Maleri af Justus Sustermans

Side 20 (lyshastighed) Troels Marstrand

Side 22 (Samme tid, same sted) Troels Marstrand

Side 25 (Hafele og Keating) AP

Side 26 (rumfærge) NASA

Side 28 (Tyngde og tid) Troels Marstrand

Side 29 (GPS) Troels Marstrand

Den røde planets hemmeligheder

Side 30 (Portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation

Side 31 (Mars) NASA, ESA, The Hubble Heritage Team (STScI/AURA), J. Bell (Cornell University) and M. Wolff (Space Science Institute)

Side 34 (vand på mars)

1 + 3: ESA Mars Express

4: JPL, NASA

2: NASA/JPL-Caltech/Univ. Of Arizona

Side 35 (klitlandskab) JPL, NASA

Side 36 (grafer) Omtegnet efter Carr, M.H. 1999, JGR, 104

Side 37 (kort) NASA

Side 38 Til venstre (Stevns Klint): Carsten R. Kjaer
Til højre (Illustration af meteoritnedslag):
NASA/Don Davis

Side 40 (Salten) Per Nørnberg

Side 41 (vindmåler) NASA/JPL

Side 42 (vindtunnel) Per Nørnberg

Side 43 (skitse af vindtunnel) H. Bechtold

Side 44 (Mars Exploration Rover) JPL/NASA

Vand, vand og atter vand

Side 46 (portræt) Anders Trærup, AU Kommunikation

Side 47 (vanddråbe) José Manuel Suárez
(Wikimedia Commons)

Side 49 (jorden) NASA

Side 50 (is) Colourbox

Side 51 (vandmolekyler) Troels Marstrand

Side 52 (iskrystal) Kenneth Libbrecht,
<http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/>

Side 53 (gejser) David L. Sifry (Wikimedia Commons)

Side 54 (laseropstilling) Niels Jørgen Hansen,
Institut for Kemi, Aarhus Universitet

Side 55 (laseropstilling princip) Troels Marstrand

Side 57 (vandmolekyler) Troels Marstrand

Side 58 (graf) Efter Søren Keiding

Side 59 (saltspredning) Michael Pereckas

Side 60 (iskrystal - princip) Troels Marstrand

Den flyvende pilekvist

Side 62 (portræt) Lars Kruse, AU Kommunikation

Side 63 (Skytem) Jan Steen Jørgensen

Side 64 Øverst (geoelektrik): Anders West Christiansen
Nederst (princip): Troels Marstrand

Side 65 (ELLOG-boremeter) Troels Marstrand

Side 66 (ELLOG-feltarbejde)

Øverst: Lars Jensen

Nederst: Jan Steen Jørgensen

Side 67 (Slæbegeoelektrik)

Øverst: Troels Marstrand

Side 69 (uheld)

Øverst: Max Halkjær

Nederst: Kurt I. Sørensen

Side 70 (SkyTEM-princip) Troels Marstrand

- Side 71 (Antarktis) Esben Auken
- Side 72 (Transport af SkyTEM) Lars Jensen
- Side 75 (SkyTEM i Australien) Lars Jensen
- Side 76 (kortlægningsresultater)
Øverst: Nikolaj Foged, Aarhus Universitet

Menneskets evolution

- Side 78 (portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation
- Side 80 (fossiler) Troels Marstrand
efter oplæg af Peter KA Jensen
- Side 81 (arter på menneskelinjen) Troels Marstrand
efter oplæg af Peter KA Jensen
- Side 82 (tilpasningsmønstre) Troels Marstrand
efter oplæg af Peter KA Jensen
- Side 84 (ældste homininfund)
Foto af kranium: Didier Descouens
- Side 85 (udviklingslinjer) Troels Marstrand
efter oplæg af Peter KA Jensen
- Side 86 (hjerneomfang) Troels Marstrand
efter oplæg af Peter KA Jensen
- Side 87 (udvandning fra Afrika) Troels Marstrand
efter oplæg af Peter KA Jensen
- Side 88 (hypoteser om menneskets oprindelse)
Troels Marstrand efter oplæg af Peter KA Jensen
- Side 90 (celle) Troels Marstrand efter
oplæg af Peter KA Jensen
- Side 91 (fossilt DNA) Peter K.A. Jensen
- Side 92 (DNA-sekvens) Troels Marstrand
efter oplæg af Peter KA Jensen
- Side 93 (slægtsdiagram) Efter Peter KA Jensen
- Side 94 (kolonisering af verden) Troels Marstrand
efter oplæg af Peter KA Jensen

Moderne kosmologi

– Verdenshistorien bind o

- Side 96 (portræt) Anders Trærup, AU Kommunikation
- Side 97 (galakse) The Hubble Heritage Team
(AURA/STScI/NASA)
- Side 99 (Planck) ESA, Planck Collaboration
- Side 100 (computersimulering) Steen Hannestad
- Side 101 (CMB) ESA, Planck Collaboration
- Side 103 (dimensioner) Troels Marstrand
- Side 104 (LHC-eksperiment) CERN
- Side 106 (magneter) Troels Marstrand
- Side 107 (universets udvikling) Troels Marstrand
Baggrundtegning: ESA/C. Carreau

Kvantemekanikken og universets byggesten

- Side 108 (portræt) Lars Kruse, AU Kommunikation
- Side 110 (klassisk mekanik)
Øverst: Aktuel Naturvidenskab
Nederst: Portræt af Newton
af Godfrey Kneller, 1689
- Side 112 (spektrometer) Troels Marstrand

- Side 113 (atommodel) Øverst: Troels Marstrand
- Side 116 (Schrödingers kat) Troels Marstrand
- Side 118 (Lene Hau) Justin Ide, Harvard News Office

It – når det rykker

- Side 120 (portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation
- Side 121 (Gier) Nigel Derrett
- Side 122 (ferritkerne) Nigel Derrett
- Side 123 (kryptering) Troels Marstrand
- Side 127 (pasta) Ukendt
- Side 129 (algoritmeforsker) Lars Kruse, AU Kommunikation
- Side 130 (ENIAC) U.S. Army foto
- Side 131 Øverst (Eschers Drawing hands):
Courtesy of M.C Escher Foundation
Nederst (pibe): © René Magritte Estate/ Artists Rights
Society (ARS), New York/ADAGP, Paris
- Side 133 (debugging) Courtesy of the Naval Surface Warfare
Center, Dahlgren, VA., 1988

En oplyst videnskab: temaer fra 1700-tallet

- Side 134 (portræt) Lars Kruse, AU Kommunikation
- Side 135 (Newton) © The Royal Society
- Side 138 (stik) Encyclopedie des sciences. Benoît Louis Prévost.
- Side 141 (Stik) Elektrischer Kuss, kobberstik 1800.
Deutsches Museum.
- Side 142 (Buffon) Portræt af Georges-Louis Leclerc,
comte de Buffon. Malet af François-Hubert Drouais.
Musée Buffon, Montbard
- Side 143 (Herschel) National Portrait Gallery,
London: NPG 98.
- Side 144 (Lavoisier og kone) Metropolitan Museum of Art,
New York.
- Side 146 (Ballon) United States Library of Congress
LC-DIG-ppmsca-02284/Wikimedia commons

Netværk og agurker med Bourbon whiskey

- Side 148 (portræt) Anders Trærup, AU Kommunikation
- Side 150 (agurkens matchningstræ) Troels Marstrand
- Side 151 (fødevarenetværk) Troels Marstrand
- Side 153 (fødevarenetværk) Øverst: Troels Marstrand
- Side 155 (grafer) Efter Albert et al. 1999. Nature 401: 130
- Side 156 (slyngveninder) Colourbox
- Side 158 (grafer) Omtegnet efter figur af J. P. Lopez &
H. Touchette
- Side 160 (fodboldnetværk) Omtegnet efter figur af J. P. Lopez &
H. Touchette.

Det forunderlige univers

- Side 162 (portræt) Anders Trærup, AU Kommunikation
- Side 163 (Jordens atmosfære) NASA
- Side 165 Øverst (Mælkevejen): ESO/S. Guisard
Nederst (Andromedagalaksen): NASA/JPL-Caltech
- Side 166 (Ioniseret gas) ESO/APEX/DSS2/ SuperCosmos/
Deharveng(LAM)/ Zavagno(LAM)

- Side 167 (Formalhaut) ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).
Visible light image: the NASA/ESA
Hubble Space Telescope
- Side 169 (Teide-observatoriet) Frank Grundahl,
Aarhus Universitet
- Side 170 (Solen) Solar Dynamics Observatory
(GSFC/NASA)
- Side 171 (Nordlys) Bud Kuenzli
- Side 172 Øverst (Gastage):
Space Telescope Science Institute /
Hubble Heritage Team (NASA)
Nederst (Tycho Brahes supernova):
NASA/CXC/SAO/JPL-Caltech/MPIA/
Calar Alto/O. Krause et al.
- Side 173 (Mælkevejen) NASA/JPL-Caltech/
Potsdam Univ.
- Side 174 (VLT) ESO/Y. Beletsky
- Side 175 (inderste dele af Mælkevejen) ESO/
S. Gillessen et al.
- Side 176 (ELT) ESO/L. Calçada
- Side 177 (Kepler-22b) NASA Kepler Mission /
R. Hurt (SSC)

Gåden om verdens største næse

- Side 178 (portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation
- Side 179 (Kaskelot) Chris Johnson/Ocean Alliance
- Side 180 (Kaskelot anatomi)
Tegning Uko Gorter (bearbejdet)
- Side 181 (hvalfangst) Courtesy of the Nantucket
Historical Association
- Side 182 (hvalfigur) Troels Marstrand
- Side 184 (Bertel Møhl) A. Heerford
- Side 185 (hval på Hawaii) C. Reichmuth
- Side 187 (Udstyr på hval) Chris Johnson/Ocean Alliance
- Side 188 (strandet hval) Thyge Jensen
- Side 189 (dykkeprofil)
Øverst: Peter Teglbjerg Madsen
Nederst: Stephanie Watwood (WHOI)
- Side 190 (Buzz) Peter Teglbjerg Madsen

Vor urolige klode

- Side 192 (portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation
- Side 193 (jordskælvsfotos)
Øverst: Gabriel Goh, Wikimedia Commons.
Nederst: Gillian Needham / Getty Images News /
Getty Images.
- Side 194 (jordskælvsmåling) Bo Holm Jacobsen
- Side 195 (dreng) Julian Bommer
- Side 196 (Valdivia) Pierre St. Amand
- Side 197 (tsunami) NOAA
- Side 199 Øverst (jordskorpebevægelser): Troels Marstrand
Nederst (jordskælv i Jeriko): Public domain,
G. Eric and Edith Matson Photograph Collection
- Side 200 (tværsnit af Jorden) Bo Holm Jacobsen

- Side 201 (computermodel) Kenni Dinesen, Geoscience,
Aarhus Universitet
- Side 203 (kræfter ved subduktionszoner) Troels Marstrand
- Side 205 (Seismografer i Grønland) Søren Bom Nielsen,
Geoscience, Aarhus Universitet
- Side 206 (Olympus Mons) NASA/Seddon

Myrerne og mennesket

- Side 208 (portræt) Dorthe Birkmose
- Side 209 (myretue) Mogens Gissel Nielsen
- Side 210 (skovmyrer) Mogens Gissel Nielsen
- Side 211 (vævermyrer)
Til venstre: Mogens Gissel Nielsen
Til højre: Brian Rasmussen, Randers Regnskov
- Side 212 (Vingedede myrer) Mogens Gissel Nielsen
- Side 213 (kaster hos myrer) Troels Marstrand
(Efter Jensen og Skøtt, 1980)
- Side 214 (feromoner)
Til venstre: Mogens Gissel Nielsen
Til højre: Rakesh Kumar Dogra,
Attribution-ShareAlike 3.0 Unported
- Side 215 (honningmyrer) Greg Hume
- Side 216 Øverst (mangroveyre): A. Narendra
Nederst (åbnet rede): Mogens Gissel Nielsen
- Side 218 (bladskæremyre) Brian Rasmussen, Randers Regnskov
- Side 219 (bladskæremyrekoloni) Troels Marstrand
- Side 220 (vævermyrer) Mogens Gissel Nielsen

Atomer afslører nyt om os og vor fortid

- Side 222 (portræt) Anders Trærup, AU Kommunikation
- Side 223 (kirke på Ålandsøerne) Jan Heinemeier
- Side 224 (Viking Tower) James0806, flickr.com
- Side 225 (graf) Bente Philippsen
- Side 226 (graf) Efter Jan Heinemeier
- Side 227 (olivengren i pimpstensvæg) Walther L. Friedrich
- Side 228 (olivengren) Walther L. Friedrich
- Side 229 (udsigt på Santorini) Walther L. Friedrich
- Side 230 (røntgen-foto af olivengren + graf)
Walther L. Friedrich
- Side 231 (foto + graf)
Foto øverst: Jan Heinemeier
Graf: Efter Jan Heinemeier
- Side 232 (graf) Efter Jan Heinemeier
- Side 233 (graf) Efter Jan Heinemeier
- Side 234 Til venstre (startblok): Omega
Til højre (accelerator):
Jesper Rais, AU Kommunikation

Havbundens dybe biosfære

- Side 236 (portræt) Anders Trærup, AU Kommunikation
- Side 237 (boreskib) IODP-USIO
- Side 239 (genetisk stamtræ) Efter Bo Barker Jørgensen
- Side 240 (arbejde på JOIDES resolution)
IODP/TAMU

- Side 241 (havbunden) Fra Jørgensen og Toftdal, Aktuel Naturvidenskab, 2011
- Side 242 (diagram) Data fra Whitman et al. (1997)
- Side 244 (diagram) Fra: Jørgensen og Toftdal, Aktuel Naturvidenskab, 2011
- Side 245 (i laboratoriet)
Til venstre: Karen Lloyd
Til højre: Bo Barker Jørgensen
- Side 246 (ALVIN) Bo Barker Jørgensen
- Side 247 (fra Aarhusbugten) Nils Risgaard-Petersen

Gastrofysik:

videnskab, velsmag og velbefindende

- Side 248 (portræt) Jakob Carlsen
- Side 249 (kok) Jonas Drotner Mouritsen
- Side 251 (madens elementer) Troels Marstrand
- Side 252 Øverst (fisk): Ole G. Mouritsen
Nederst (konbu): Norishige Yotsukura
- Side 253 (sushi) Til venstre: Jonas Drotner
- Side 255 Øverst (søl): Jonas Drotner Mouritsen
Nederst (salat): Ole G. Mouritsen
- Side 256 (aminosyrer)
Øverst: Jonas Drotner Mouritsen
Nederst: Himanshu Khandelia
- Side 257 (graf) Efter Mouritsen et al. (2012). Flavour 1:4
- Side 258 (smag) Jonas Drotner Mouritsen
- Side 259 (umami-receptor)
Øverst: Ole G. Mouritsen
Nederst: Aktuel Naturvidenskab
- Side 260 (makrel i tomat) Carsten R. Kjaer

Krybdyrenes halve hjerte og kredsløbets udvikling

- Side 262 (portræt) Anders Trærup, AU Kommunikation
- Side 264 (hjerterets evolution) Troels Marstrand
- Side 266 (kredsløb) Troels Marstrand
- Side 267 (Fallots tetralogi) Fra Taussig, H.B. (1960).
Congenital malformations of the Heart.
Harvard University Press, Cambridge.
- Side 268 (hjerstekamre) Troels Marstrand
- Side 270 (ledningssystem) Lucile Miquerol
- Side 271 (slangehjerte) Tobias Wang
- Side 272 (kaiman) Tobias Wang
- Side 273 (klapperslange) Mads Bertelsen
- Side 274 (operation af slange) Ted Taylor,
University of Birmingham
- Side 275 (pytonslanger) Carsten R. Kjaer,
Aktuel Naturvidenskab
- Side 276 (MR-skanning) Johnnie B. Andersen

Doping, sundhed og fair konkurrencer

- Side 278 (portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation
- Side 282 (Jesper Münsberg) Onside.dk
- Side 283 (boksning) John Locher / Las Vegas Review-Journal
- Side 285 (Michael Rasmussen) colinedwards99

- (Wikimedia Commons)
- Side 287 (Indurain) Eric Houdas, Wikimedia commons
(Armstrong) Bjarte Hetland, wikimedia commons
- Side 288 (principfigur) Troels Marstrand
- Side 289 (diagram) Efter Thomsen et al., Eur J Appl Physiol, 2007
- Side 290 (cykelryttere)

Pattedyrenes mælk

- Side 292 (portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation
- Side 293 (mus) Mark A. Klingler, Carnegie Museum of Natural History
- Side 294 (undergrupper af pattedyr)
Gravid kvinde: wikimedia commons
Næbdyr: wikimedia commons
- Side 295 (brystudvikling) Troels Marstrand
- Side 296 (komponenter i mælk) Troels Marstrand
efter oplæg af Torben Ellebæk Petersen
- Side 297 (laktasegen) Troels Marstrand
efter oplæg af Torben Ellebæk Petersen
- Side 298 (fedtsyre) Troels Marstrand
- Side 299 (mælkecelle) Troels Marstrand
- Side 300 (osteproduktion)
Til venstre: Shaena Engle / The Divine Dish
Til højre: Torben Ellebæk Petersen
- Side 301 (osteopontin) Arla Foods Ingredients Group P/S
- Side 303 (Niemann-Pick C2) Christian Würtz Heegaard

Naturen i bevægelse

- klimaets betydning for den biologiske mangfoldighed

- Side 304 (portræt) Lars Kruse, AU Kommunikation
- Side 305 (planche) Fra: Nordic Journal of Botany 21:341-347.
Copyright © 2008, John Wiley and Sons
- Side 306 Øverst (biologisk mangfoldighed):
Jens-Christian Svenning, data fra IUCN
Nederst (befolkningstal): Kilde FN
- Side 307 (topografisk kort) Shuttle Radar Topography Mission
- Side 308 (biodiversitets-data) GBIF
- Side 309 (graf) Graf efter Science 322:206-207
Fotos: Rolando Pérez, STRI
- Side 310 Øverst (bøffel): Steve Garvie, Dunfermline, Fife,
Scotland
Nederst (Anna Blach-Overgaard): Dennis Pedersen
- Side 311 (Chamaerops humilis) Jens-Christian Svenning
- Side 312 (kinesisk gummitræ og magnolie)
Jens-Christian Svenning
- Side 313 (klimaændringer) Jens-Christian Svenning
- Side 315 (klimascenarier) Efter IPCC
- Side 316 (valnød) Jens-Christian Svenning
- Side 317 (Pyrenæisk desman) David Perez
- Side 318 (Alpeflora) Jens-Christian Svenning

Acceleratorer

– fysikkens store maskiner

- Side 320 (portræt) Anders Trærup, AU Kommunikation
Side 321 (højspændingsaccelerator)
The Cavendish Laboratory, University of Cambridge
Side 322 (strålekanon) Foto venligst stillet til rådighed
Varian Medical Systems, Inc. All rights reserved
Side 323 (Ernest Rutherford)
Øverst: Troels Marstrand
Nederst: Sir Ernest Marsden Collection,
Alexander Turnbull Library, Wellington,
New Zealand.
Side 325 (synkrotron) Troels Marstrand
Side 326 (LHC) CERN
Side 327 (atommodel) Troels Marstrand
Side 328 (partikler i standardmodellen)
Aktuel Naturvidenskab
Side 329 (strålebehandling) Troels Marstrand
Side 330 (udstyr til strålebehandling) Foto venligst stillet
til rådighed af Varian Medical Systems, Inc.
All rights reserved.
Side 333 (ATSRID₂) Lars Kruse, AU Kommunikation
Side 334 (synkrotronstråling) Niels Hertel

Hvorfor ældes vi?

– når vor molekylær gør os gamle

- Side 336 (portræt) Lise Balsby, AU Kommunikation
Side 337 (Misao Okawa) The Times, UK
Side 338 (grafer) Kilde: Danmarks statistik
Side 339 (skildpadde) Matthew Field,
<http://www.photography.mattfield.com>
Side 340 (aldersrelaterede sygdomme) Colourbox
Side 342 (telomerer) Troels Marstrand
Side 343 (mitokondrier) Troels Marstrand
Side 345 (børn) Louise Bindslev
Side 346 Til venstre (rundorm): Jürgen Berger /
Max Planck Institute for Developmental Biology.
Til højre (bananflue): Mr.checker,
Wikimedia Commons
Side 347 (seniorfitness) © 2011 Innovations Fitness

Tycho Brahes liv, død og efterliv

- Side 348 (portræt) Jesper Rais, AU Kommunikation
Side 349 (Hven) Det Kongelige Bibliotek
Side 350 (Uraniborg) Det Kongelige Bibliotek
Side 351 (Tychos samlede værker) Det Kongelige Bibliotek
Side 352 Øverst (De MVUNDI): Det Kongelige Bibliotek
Nederst tv. (vandmærke): Det Kongelige Bibliotek
Nederst th: Jens Vellev
Side 353 (Keplers redegørelse) Det Kongelige Bibliotek
Side 354 (Gravsten) Jacob Christensen Ravn,
Moesgård Museums fotolaboratorium/
Aarhus Universitet
Side 355 (kranierest) Jan Langhans / Det Kongelige Bibliotek
Side 356 Øverst (Tycho portræt): Det Kongelige Bibliotek
Nederst (tekstilrest): Jens Vellev
Side 357 (Tychos kiste) Jens Vellev
Side 358 (Tychos skelt) Jens Vellev
Side 359 (CT-skanning) Jens Vellev
Side 360 (ligskjorte) Jens Vellev
Side 361 (Tychos skelet) Jens Vellev
Side 362 (genplacering af skelet) Jens Vellev
Side 362 Øverst (Nuclear Physics Institute): Jens Vellev
Nederst (graf): Efter Rasmussen et al (2012).
Side 364 (Armillæ Ækvatoræ) Det Kongelige Bibliotek
Side 364 (Armillæ Ækvatoræ) Jens vellev

Nanoteknologi og nanoscience

– den næste industrielle revolution?

- Side 366 (portræt) Jesper Rais, AU Kommunikation
Side 367 (rentrum) Purdue News Service photo/Mike Willis
Side 370 (Lycergusbæger) © Trustees of the British Museum
Side 373 (STM-princip) Troels Marstrand
Side 374 (STM-mikroskop):
Foto: Lars Kruse, AU Kommunikation
Side 375 (STM-mikroskop) Lars Kruse, AU Kommunikation
Side 376 (bilos) Shutterstock
Side 377 (MoS₂) iNANO
Side 378 (BRIM[®] katalysator) Haldor Topsøe A/S
Side 379 (iNANO-bygningen) Lise Balsby, AU Kommunikation
Side 381 (Grätzel-solcelle) Troels Marstrand
Side 382 (DNA-kasser)
Illustration: Ebbe Sloth Andersen, iNANO
Mikroskopifoto: Efter Nature, 459, 73-76

25 søforklaringer

Naturvidenskabelige fortællinger fra Søauditorierne

© Forfatterne og Aarhus Universitetsforlag 2014

For- og bagsideillustrationer:

Foto af Søauditoriet: Poul Ib Henriksen,

øvrige se illustrationslisten side 385

Redigeret af Carsten Rabæk Kjaer

Tilrettelægning, sats og omslag: Jørgen Sparre

Bogen er sat med Jenson Pro og Syntax

Trykt på 135 g Tatami White hos Narayana Press

Printed in Denmark 2014

ISBN 978 87 7124 096 2

Aarhus Universitetsforlag

Langelandsgade 177

8200 Aarhus N

www.unipress.dk



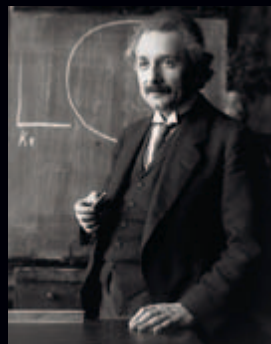
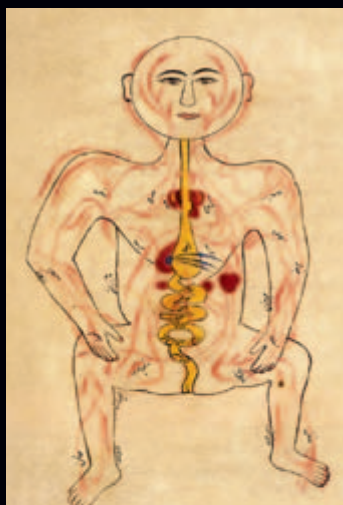
Se mere på scitech.au.dk/foredrag

Sorte huller i universet. Aldringens gåde. Kemien i velsmag. Kvantemekanik. Kaskelottens næse. Kortlægning af grundvand med helikopter.

Forskerne har været vidt omkring ved *Offentlige foredrag i Naturvidenskab ved Aarhus Universitet*. Dragende emner, nørdede emner, dagligdags emner – og emner de fleste af os aldrig har hørt om.

Men publikum strømmer til. Aften efter aften – år efter år. Mere end 800 mennesker løser billet til Søauditorierne i Aarhus Universitetspark på en typisk foredragsaften, og foredragene gentages ofte tre aftner i træk.

I denne bog skriver forskerne bag 25 af foredragene om det emne, de har fortalt det talstærke publikum om. Bogen giver et bredt indblik i aktuel dansk forskning inden for naturvidenskab. Og samtidig giver den indsigt i, hvordan en foredragsrække om naturvidenskab har udviklet sig til et offentligt tilløbsstykke, der har vakt opsigt i ind- og udland.



ISBN 978-87-7124-096-2



9 788771 240962

Aarhus Universitetsforlag